



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU TEPELNÝMI ČERPADLY

HEATING OF FAMILY HOUSE BY HEATING PUMPS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN KORDIOVSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN LISÝ, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Kordiovský

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vytápění rodinného domu tepelnými čerpadly

v anglickém jazyce:

Heating of Family House by Heating Pumps

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provést rešerži typů tepelných čerpadel a základní porovnání vytápění rodinných domů pomocí různých tepelných čerpadel.

Cíle bakalářské práce:

Provedení rešerže základních typů tepelných čerpadel

Základní porovnání zapojení jednotlivých typů tepelných čerpadel



Seznam odborné literatury:

Jandačka, J., Mikulík, M.: Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. TU Žilina 2007, ISBN 978-80-969595-4-9

Bašta J.: Regulace vytápění, ČVUT v Praze, 2007 ISBN - 978-80-01-02582-6

Brož, K.: Vytápění. Praha 2006, ISBN 80-01-02536-5

Firemní a internetové zdroje

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Lisý, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 19.11.2014



J. Pospíšil

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Ředitel ústavu

J. Katolický

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá tématem vytápění rodinného domu pomocí tepelných čerpadel. Je zde vysvětlen základní princip jejich funkce, způsob hodnocení, možnosti provozu s doplňkovým zdrojem a základní rozdělení podle různých kritérií. V další části jsou vybrána tepelná čerpadla typu vzduch/voda, země/voda a voda/voda. Jsou navzájem porovnány jejich výhody a nevýhody z hlediska zapojení. Posuzuje se jejich vhodnost k vytápění rodinných domů a přípravy teplé užitkové vody.

Klíčová slova:

Tepelné čerpadlo, vytápění, nízkopotenciální teplo, topný faktor, bivalentní bod

Abstract:

Bachelor's thesis deals with the topic of heating of family house by heating pumps. Fundamental principle of their function is there explained as well as possibility of performance evaluation, different modes of operation with an additional heat source and basic distribution according to divergent criteria. In the next part were selected three types of heating pumps: air/water, ground/water and water/water. Advantages and disadvantages are evaluated for each of them. There is the question of the appropriateness of application to family houses.

Key words:

Heating pumps, heating, lowpotential heat, coefficient of performance, bivalent point

Bibliografické citace:

KORDIOVSKÝ, J. *Vytápění rodinného domu tepelnými čerpadly*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Lisý, Ph.D.

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně pod odborným vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Martina Lisého, Ph.D. a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně, dne 26.5.2015

.....
Podpis autora
Jan Kordiovský

Poděkování:

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce panu Ing. Martinu Lisému, Ph.D. za jeho cenné rady, ochotu a vstřícnost při konzultacích mé závěrečné práce. Dále bych rád poděkoval za trpělivost a podporu mé rodině, známým a přátelům.

Obsah

1 Úvod.....	13
2 Tepelné čerpadlo	14
2.1 Princip tepelného čerpadla.....	14
2.2 Hodnocení hospodárnosti TČ	14
2.3 Topný faktor.....	15
2.4 Sezónní topný faktor (SPF).....	16
2.5 Způsob provozu TČ.....	16
2.5.1 Monovalentní provoz.....	17
2.5.2 Bivalentní provoz	17
2.5.3 Alternativně bivalentní provoz.....	18
2.5.4 Bivalentně částečně paralelní provoz	18
2.6 Akumulace	19
3 Rozdělení.....	20
3.1 Podle principu činnosti TČ	20
3.1.1 Kompresorová	20
3.1.1.1 Kompresory	21
3.1.2 Sorpční TČ	22
3.1.2.1 Absorpční oběh.....	22
3.1.2.2 Adsorpční (zeolitová) čerpadla.....	23
3.2 Podle primárního zdroje nízkopotenciální energie/ ohřívaného média	24
3.2.1 Plošný kolektor.....	25
3.2.2 Hlubinné vrty	26
3.2.3 Energetické piloty.....	28
3.2.4 Spodní voda.....	28
3.2.5 Povrchová voda	29
3.2.6 Venkovní vzduch.....	29

3.3 Podle typu chladiva	30
4 Srovnání konkrétních instalací TČ.....	30
4.1 Bod bivalence.....	30
4.2 Tepelné ztráty.....	30
4.3 TČ vzduch/ voda	31
4.4 TČ země/voda	33
4.5 TČ voda/voda.....	34
5 Vyhodnocení výsledků	36
Závěr	37
Citovaná literatura.....	39
Seznam zkratek a symbolů	41

1 Úvod

Historie tepelných čerpadel sahá až do roku 1852, kdy poprvé tuto myšlenku formuloval W. Thompson (lord Kelvin) pomocí jeho druhé termodynamické věty. Z ní plyne fakt, že pokud teplo nemůže samovolně přecházet z chladnějšího tělesa na teplejší, potom musíme soustavě dodat práci, což je princip TČ. První realizace přišla až o 75 let později v roce 1927 T. Haldanem, který využil tepelné čerpadlo pro vytápění úřední budovy v Los Angeles. V celosvětový zájem vyústila až v 80. letech ropná krize. Aplikace se nejprve objevovala ve větších budovách, kde bylo většinou zdrojem odpadní teplo [1].

Tepelné čerpadlo (TČ) je velice efektivní zařízení a v posledních letech se těší velkému rozmachu instalace do rodinných domů jako levný zdroj vytápění či přípravy TUV. Dokáže převádět nízkopotenciální energii, která se nedá využívat přímo, na vyšší teplotní hladinu a ohřívat tak médium otopné soustavy (OS). Princip tohoto procesu je popsán v druhé kapitole. Největší nevýhodou jsou vysoké investiční náklady, což může v některých případech investora odradit. Investice se samozřejmě po čase vrátí díky jeho levnému provozu, musí ale být uskutečněno kvalitní provedení a návrh. Naopak velice výhodná je možnost použití v létě k vytápění bazénu a u některých typů se může provoz otočit do reverzního chodu, aby TČ pracovalo jako klimatizace v domě.

Hlavním cílem této práce je popsat základní typy tepelných čerpadel a porovnat jednotlivé možnosti zapojení. Je zde popsán způsob, jak lze hodnotit TČ, možnosti provozu s doplňkovým zdrojem při nízkých venkovních teplotách a základní rozdělení podle různých kritérií. Nejdůležitějším rozdělovacím kritériem je zdroj nízkopotenciálního tepla, podle něhož byly vybrány jednotlivé typy TČ ke srovnání. Za médium otopné soustavy byla zvolena voda, a stlačování plynu je realizováno pomocí kompresoru. Zdrojem tepla byl zvolen venkovní vzduch, vertikální a horizontální kolektor a spodní voda odebíraná ze studny.

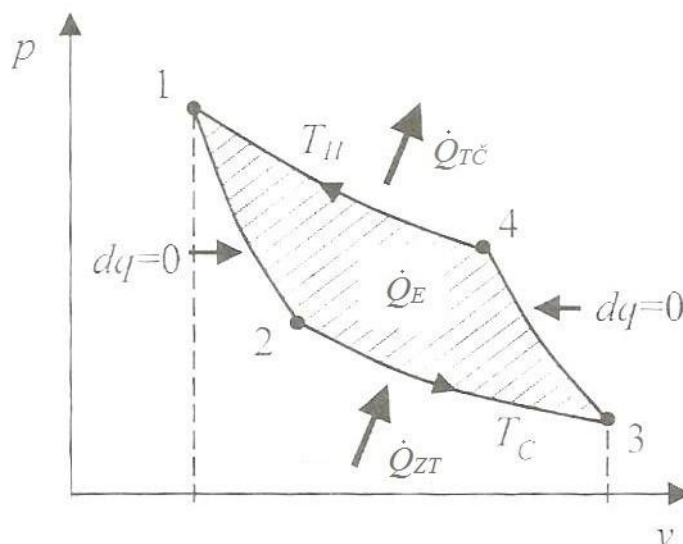
2 Tepelné čerpadlo

2.1 Princip tepelného čerpadla

K získání tepelné energie pro ohřátí topného systému je třeba převést teplo ze zdroje s nevyužitelnou (nizkopotenciální) energií tzv. anergií na vyšší teplotní úroveň. Teplota zdroje je tedy nižší, než teplota ohřívané látky. Druhý zákon termodynamiky nám říká, že teplo nemůže samovolně přecházet ze studenějšího tělesa na těleso teplejší. Velice důležité je zde slovo samovolně. Aby se teplejší těleso ohřálo, musí se dodat tepelnému čerpadlu nějaká práce a to nejčastěji ve formě elektrické energie. Chladivo, čili ohřívané médium proudící v TČ, má nízkou teplotu varu, dodáním energie od zdroje nizkopotenciálního tepla v tepelném výparníku se médium vypaří. Dále se provede jeho komprese, čímž se plyn prudce zahřeje a v kondenzátoru může ohřívát pracovní látku topné soustavy. Plynné chladivo se po ochlazení zkapalní, jelikož se využívá právě kondenzační teplo, přičemž tlak chladiva je stále vysoký. Jeho snížení se provádí pomocí expanzního ventilu. Médium se vrací do tepelného výměníku a cyklus se opakuje. Zdrojem tepla s nízkou teplotní hladinou se rozumí odpadní teplo či přírodní zdroje, které nelze přímo využívat, jelikož je jejich teplota příliš nízká. Přírodním zdrojem může být např. venkovní či vnitřní vzduch, zemské teplo hornin, půdní vrstva, podzemní či povrchová voda aj. [2].

2.2 Hodnocení hospodárnosti TČ

Hodnocení hospodárnosti energetického hlediska je založeno na posuzování toku energií a vyjadřování vztahů mezi získanou a vynaloženou energií. Pro porovnání hospodárnosti tepelných čerpadel lze uvažovat obrácený Carnotův cyklus (obr. 1), složený z izoterm a izoentrop. Jedná se o ideální oběh, kdy výměníky tepla mají nekonečně velké teplosměnné plochy. Energie \dot{Q}_{ZT} zdroje tepla, tedy energie dodávaná od okolního prostředí, se přivádí při izotermickém ději při nižší teplotě T_C . Energie \dot{Q}_{TC} se odvádí do otopné soustavy při vyšší teplotě T_H . Jak již bylo řečeno, je třeba dodat soustavě práci \dot{Q}_E [3].



Obr. 1 – Obrácený Carnotův cyklus[3].

K vyhodnocení efektivity strojů se nejčastěji využívá termická účinnost. Vyjadřuje ji poměr mezi výstupní energií a vstupní energií. Vlivem ztrát dochází k poklesu výstupní

energie oproti vstupní energii, účinnost bude vždy menší než 1. Účinnost tepelného čerpadla tedy vyjadřuje vztah (1):

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{T\check{C}}}{\dot{Q}_{ZT} + \dot{Q}_E} \quad (1)$$

kde	$\eta [-]$...	účinnost
	$\dot{Q}_{T\check{C}} [W]$...	získaný tepelný výkon TČ
	$\dot{Q}_{ZT} [W]$...	tepelný tok dodávaný zdrojem
	$\dot{Q}_E [W]$...	potřebný příkon

Pro hodnocení hospodárnosti tepelné čerpadla však není tak důležitá energie získaná od okolního prostředí, protože tato energie je jinak nevyužitelná. Proto se efektivita TČ hodnotí pomocí topného faktoru [4].

2.3 Topný faktor

Topný faktor neboli COP (z angličtiny Coefficient of Performance) ze vztahu (2) vyjadřuje poměr mezi tepelnou energií odevzdanou topné soustavě a prací \dot{Q}_E , dodanou soustavě (nejčastěji ve formě příkonu kompresoru) [1, 3].

$$\varepsilon = COP = \frac{\dot{Q}_{T\check{C}}}{\dot{Q}_E} \quad (2)$$

Skutečný topný faktor se ovšem poněkud liší. Energie \dot{Q}_E , zahrnuje také nezbytné příkony oběhových čerpadel pro cirkulaci zdroje, popřípadě ventilátorů. Spotřeba energie oběhových čerpadel u hlubinného vrtu nebo zemního kolektoru sice není příliš vysoká, ale není zanedbatelná. Musí se započítat do celkové spotřeby, jinak by došlo ke zkreslení topného faktoru. U tepelných čerpadel, kde je zdrojem energie vzduch, mají ventilátory spotřebu ještě vyšší [4].

Některé příkony nemohou firmy k tepelným čerpadlům uvést. Např. u tepelného čerpadla, kde je zdrojem tepla podzemní voda, se musí do celkové vstupní energie započítat také příkon čerpadla. Firma ale nemůže vědět, jaké čerpadlo pro vyčerpání vody ze studny investor použije, proto bude hodnota topného faktoru udávaná firmou jistě mnohem vyšší, než ve skutečnosti je [5].

Topný faktor není konstantou tepelného čerpadla, jelikož se v průběhu roku mění teplota zdroje. S klesající teplotou topný faktor klesá. Stejně tak, jako u vodního čerpadla vzroste spotřeba energie při větším rozdílu hladin, kompresor potřebuje dodávat také více energie při vyšších rozdílech teplotních hladin. Nízkoteplotní vytápěcí systémy v domech požadují výstupní teplotu 30 až 50° C. U některých tepelných čerpadel se uvádí výstupní teplota až 65 °C. Naproti tomu vstupní teplota je různá, jelikož závisí na typu zdroje. S ohledem na fakt, že se požaduje co nejmenší rozdíl teplotních hladin, by se mělo ochlazovat co nejteplejší látkou. Teploty ochlazovaných látek se pohybují obvykle okolo 0°C [4].

Při porovnávání různých tepelných čerpadel tedy nelze brát ohled pouze na samotný topný faktor. Je velice důležité znát také podmínky, za kterých je topný faktor dosažen. Myslí se tím teplota vstupního a výstupního média. Nelze tvrdit, že tepelné čerpadlo dosahující topného faktoru 4 při teplotě vody vstup/výstup 10/45 °C je lepší než tepelné čerpadlo

s topným faktorem 3,2 při teplotě vody vstup/výstup 0/50 °C. Ovšem opačně to platit může [4]. Prvním případem by mohlo být již zmiňované tepelné čerpadlo voda/voda, které má poměrně vysokou vstupní teplotu, ale není do topného faktoru započítán příkon vytlačného čerpadla, spotřeba je tedy větší [5]. Topný faktor je příznivější, pokud je teplota výstupní vody nižší. Vyplatí se instalovat do vytápěného objektu tepelným čerpadlem podlahové vytápění, jelikož vyžaduje nižší teplotu pro ohřívání vody než je tomu u radiátorů.

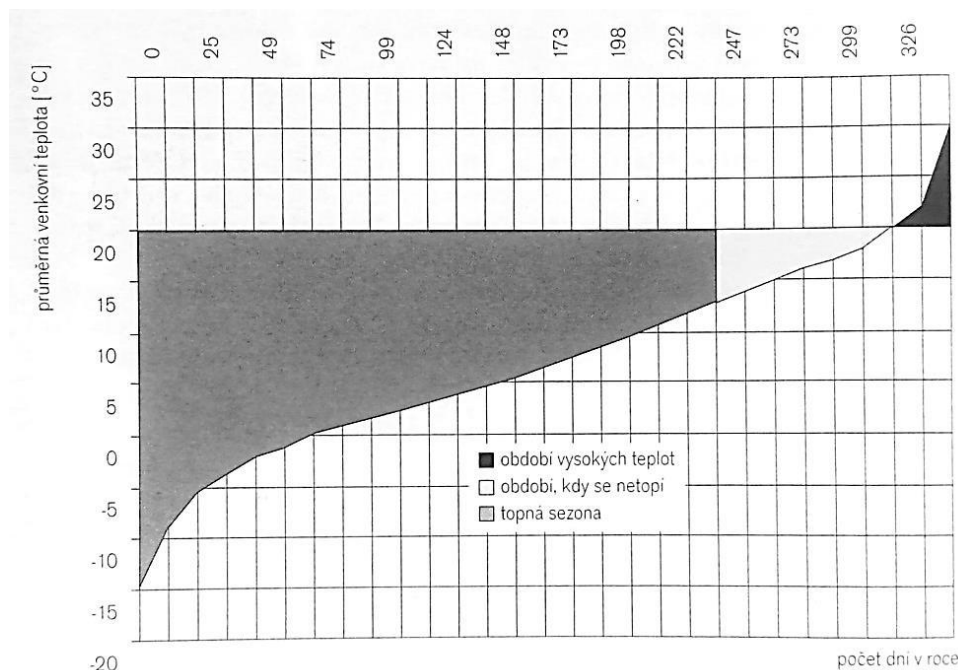
Lepší tepelné čerpadlo znamená, že se zvýší úspora energie. Neroste však úměrně s topným faktorem. Narůstá relativně pomalu a s větším topným faktorem se tento nárůst zpomaluje. Nelze tedy tvrdit, že dvojnásobný topný faktor zajistí dvojnásobnou úsporu energie [6].

2.4 Sezónní topný faktor (SPF)

Jak již bylo zmíněno v kap. 2.3, reálný topný faktor je ovlivněn různými příčinami. Nejlepším ukazatel pro hodnocení TČ tedy není samotný topný faktor, ale dlouhodobý sezónní topný faktor, který není jednoduché zjistit. Je třeba provést dlouhodobé měření, kdy se do příkonu započítává veškerá spotřebovaná energie, tedy energie pro pohon kompresoru, oběhových čerpadel primárního i sekundárního okruhu, ztráta energie vlivem zvoleného typu chladiva a další [7].

2.5 Způsob provozu TČ

Tepelná čerpadla se dimenzují na podmínky, aby průměrná vnitřní teplota vytápěného objektu odpovídala 19 až 20° C a venkovní teplota podle klimatických oblastí -12 °C, -15° C nebo -18 °C. Počet dní v roce, kdy teplota klesá např. v mírných klimatických oblastech pod -12 °C, je velmi málo a dní, kdy pod tuto hranici klesne průměrná denní teplota, se vyskytuje za rok ještě méně. Graf na obr. 2 vyjadřuje četnost dní podle průměrné denní teploty. TČ se



Obr. 2 – Graf závislosti počtu dní v roce na průměrné venkovní teplotě [4].

většinou dimenzují u bivalentních provozů takovým způsobem, aby tepelný výkon byl stejný jako 50–80 % tepelných ztrát a u monovalentních provozů na 100 % tepelných ztrát [4].

2.5.1 Monovalentní provoz

Monovalentní provoz se uvažuje zejména u dobře izolovaných rodinných domů, jejichž tepelná ztráta se pohybuje do 10 kW. TČ nemusí spolupracovat s žádným dalším zdrojem tepla a plně vystačí na vytápění objektu i ohřev TUV. Předpokladem tohoto způsobu provozu je, aby byl systém rozvodu tepla dimenzován na výstupní teplotu nižší, než je maximální výstupní teplota tepelného čerpadla. Předimenzování zaručuje lepší spolehlivost systému. S monovalentním provozem TČ se dá uvažovat hlavně v případě vertikálních kolektorů, jelikož se teplota v hlubinných vrtech výrazně nemění. Naopak vůbec není vhodný na provoz TČ, kde je zdrojem nízkopotenciálního tepla vzduch. Při venkovních teplotách dosahujících např. -15°C není schopna většina vzduchových tepelných čerpadel vůbec pracovat nebo jen na částečný výkon. Pokud by čerpadlo pracovalo např. až do -20°C muselo by se výrazně předimenzovat, což není ekonomicky výhodné. V takových případech se připojuje jiný zdroj tepelné energie [4].

2.5.2 Bivalentní provoz

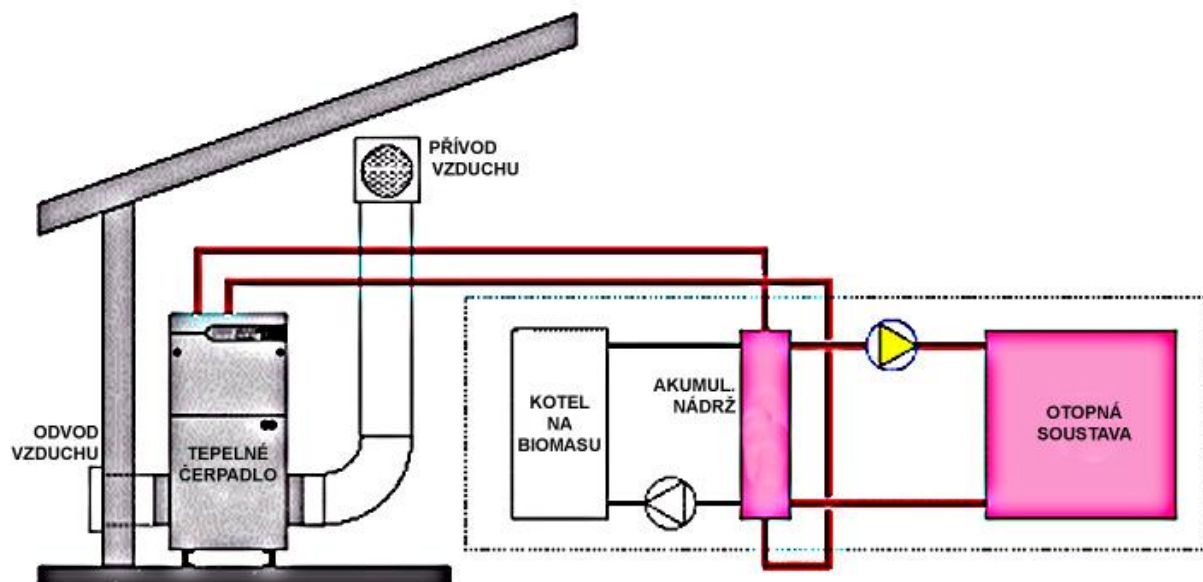
Výrazné předimenzování tepelných čerpadel se investorovi jednoznačně nevyplatí. Ať už z hlediska ekonomického, tak z hlediska větší náročnosti stavebních prací, či potřeby většího prostoru pro tepelné čerpadlo. Dokonce ani dimenzování na výkon, který odpovídá veškerým tepelným ztrátám objektu, není dobrou volbou. Běžně se doporučuje instalovat tepelné čerpadlo, které pokryje 50–80 % tepelných ztrát stanovených při nejnižší výpočtové teplotě, systém se doplní dalším, tzv. špičkovým zdrojem tepla, jímž je obvykle elektrokotel. V případě výpadku TČ se může tento druhý zdroj použít jako záloha. Vzhledem k použití přídatného zdroje musí zákonitě vzrůst spotřeba energie a snížit se topný faktor tepelného čerpadla pracujícího bivalentně. V praxi lze používat jako doplňkový zdroj libovolný samostatný zdroj energie (různé typy kotlů). Nejproblémovějším faktorem takové spolupráce je vzájemná regulace výkonů. Některé regulace se navrhují přímo ke konkrétnímu domu, což ale zvýší investice. O bivalentní provoz se jedná i tehdy, není-li napojen vedlejší zdroj na otopnou soustavu (např. krb, elektrická kamna atd.), protože v případě snížení výkonu tepelného čerpadla lze tímto způsobem kompenzovat vzniklou tepelnou ztrátu. Regulaci pak provádí sám investor. Bivalentním provozem se tedy rozumí takový systém, kdy v mrazivém období topí TČ zároveň s jiným zdrojem tepelné energie (obr. 3b). U bivalentních provozů se tepelné čerpadlo navrhuje tak, aby špičkový zdroj dodával pouze 5–10 % celkové roční spotřeby tepla [4]. Špičkový zdroj se do systému zapojuje sériově [8].

Na obrázku 3 jsou zakresleny křivky výkonu TČ a tepelných ztrát objektu v závislosti na teplotě vnějšího prostředí. Bod bivalence leží na průsečíku těchto dvou křivek. V tomto bodě TČ již není schopno plně pokrýt tepelnou ztrátu vytápěného objektu. Na horizontální ose je zobrazena teplota bivalence t_b , při které sepne dodatkový zdroj tepla (DZ). Tepelné ztráty řídce vyšrafované oblasti pokrývá TČ, hustě vyšrafovanou oblast pokrývá DZ [9].

2.6 Akumulace

Akumulátory tepla neboli taktovací nádrže jsou důležitým prvkem zejména tepelných čerpadel, která nemají možnost regulace výkonu. Důvody použití akumulční nádrže mohou být různé. Např. jestliže se v topném systému regulace průtoku provádí skokově, nebo množství topné vody v topném systému neodpovídá špičkovému výkonu TČ (1 kW potřebuje asi 20 l vody). Dalším případem může být monovalentně pracující TČ, přičemž venkovní teploty se pohybují okolo 5 °C. V takových podmínkách je požadavek na potřebné teplo v objektu nízký, voda topné soustavy se rychle ohřeje a TČ vypne, nicméně teplo se nestihne předat do okolního prostředí. Akumulátor je zde tedy nezbytnou součástí, jelikož se úplně nabije a následně za vypnutého tepelného čerpadla dodává energii otopné soustavě [11].

Pokud TČ pracuje, teplo je přiváděno do akumulátoru, čímž se nabíjí. K jeho vybíjení dochází v době přestávky nebo vypnutí tepelného čerpadla. Naakumulované teplo ve vyrovnávacím akumulátoru nahrazuje pokles teploty ve vytápěné místnosti [12]. Akumulační nádrž slouží pro hydraulické oddělení TČ od otopné soustavy. Díky tomu lze provozovat tepelné čerpadlo při stálých podmínkách a je zabráněno častému vypínání a spínání TČ. Časté spínání snižuje životnost a je povoleno maximálně 6 sepnutí za hodinu. V případě, že se jedná o TČ s vestavěným doplňkovým zdrojem (bivalentní provoz), pak tento zdroj (např. topná spirála) může být zapojen takovým způsobem, aby ohříval vodu v akumulátoru. Objem vody v akumulátoru je závislý na špičkovém výkonu tepelného čerpadla. Udává se 10 až 20 litrů na 1 kW [10, 11].



Obr. 4 – Zapojení vzduchového tepelného čerpadla s akumulční nádrží a kotlem na biomasu jako doplňkovým zdrojem [13].

3 Rozdělení

Třídít tepelná čerpadla lze dle různých kritérií:

1. podle principu činnosti tepelného čerpadla
2. podle primárního zdroje nízkopotenciální energie/ohřívaného média
3. podle typu chladiva

3.1 Podle principu činnosti TČ

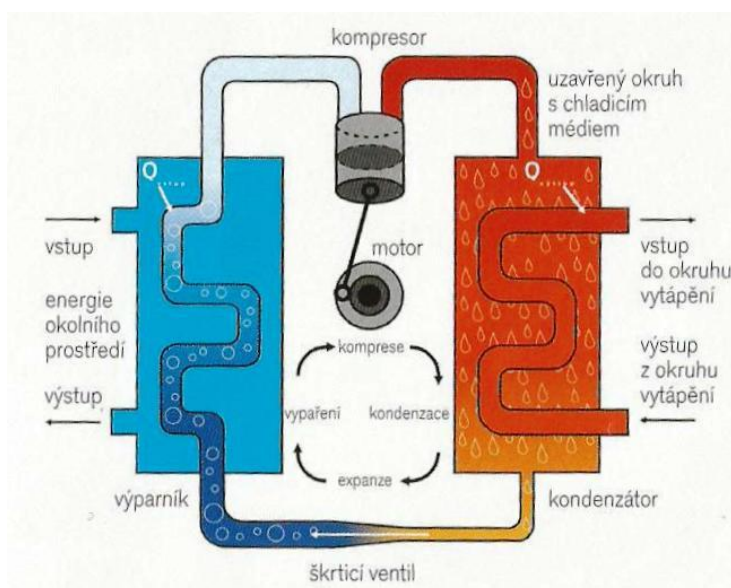
Tepelná čerpadla mohou být poháněna různou formou energie. Zatímco kompresorová čerpadla využívají pohon parního cyklu chladiva elektrickým motorem nebo plynovou turbínou, sorpční čerpadla jsou poháněna tepelnou energií uvolněnou při chemické reakci.

3.1.1 Kompresorová

Pro vytápění rodinných domů se používají nejběžněji tepelná čerpadla kompresorová, přičemž jejich pohon zastupuje nejčastěji elektromotor [14]. Tento typ pracuje naprosto stejně jako lednice. Potravinám se odebírá nízkopotenciální teplo, které je následně předáno okolnímu vzduchu, tedy lze konstatovat, že ohřívá místnost. Nicméně, cílem chladicího zařízení je samozřejmě ochlazovat potraviny. Tepelné čerpadlo také odebírá teplo nějakému zdroji nízkopotenciální energie a následně ho předává ve formě vysokopotenciálního tepla pracovnímu médiu topné soustavy. Principiálně se tedy jedná o stejná zařízení [4].

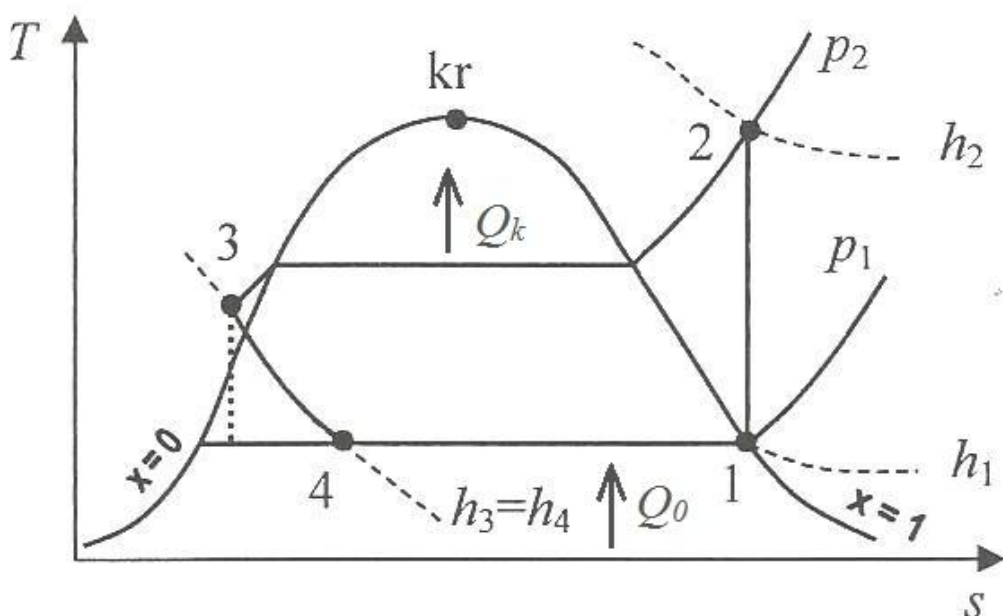
Využívá se faktu, že teplota varu různých látek roste s rostoucím tlakem. Například čpavek, který lze využít jako chladivo, má při normálním tlaku teplotu varu okolo $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$. Stlačený na 2000 kPa vaří, respektive kondenzuje, až při $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jedovatý čpavek se ovšem z důvodu ekologie nahrazuje jinými typy chladiv, jimiž se zabývá kapitola 3.3 [4].

Kompresorová TČ obsahují čtyři hlavní komponenty: výparník, kompresor, kondenzátor a expanzní ventil. Zjednodušené schéma zapojení jednotlivých částí kompresorového tepelného čerpadla je na obrázku 5 [4].



Obr. 5 – Schéma kompresorového TČ [4].

Oběh jeho chladiva kompresorového TČ pracuje podle Rankinova cyklu znázorněného na obrázku 6. Ve výparníku (studená část) získává chladivo o stavu 0 nízkopotenciální teplo Q_0 od zdroje, např. ze země. Dodáním tohoto tepla se pracovní médium vypařuje již za nízkých teplot a tlaků (amoniak za teploty $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ a při atmosférickém tlaku) na stav 1. V plynném stavu za nízké teploty dále putuje do kompresoru, kde dochází k izoentropickému stlačování na stav 2. Kompresoru se musí dodat potřebná mechanická energie P (příkon motoru). Proces komprese způsobuje zvýšení teploty a tlaku chladiva. Ve druhém výměníku tepla (kondenzátoru) dochází k izobarickému ochlazování chladiva až na teplotu nižší než je teplota kondenzace pracovního média (stav 3). Uvolněné kondenzační teplo Q_k se využívá pro ohřátí pracovní látky topného systému, nejčastěji vody ústředního topení. Zkapalněné chladivo má stále vysoký tlak p_2 . K izoentalpickému snížení tlaku na výchozí hodnotu slouží expanzní ventil. Chladivo se opět ohřívá ve výparníku a celý cyklus se opakuje [3, 15].



Obr. 6 – T-S digram kompresorového TČ [3].

3.1.1.1 Kompresory

Nejdražším a velice důležitým prvkem kompresorových tepelných čerpadel, jak už z názvu plyne, je kompresor. Jeho úkolem je stlačovat plynné chladivo a tím zvýšit jeho teplotní úroveň. Pro správný výběr kompresoru je velice důležité, aby byl schopen pracovat v celém rozsahu teplot a tlaků. Velmi podstatným faktorem je také minimální spotřeba elektrické energie, která výrazně ovlivňuje hodnotu topného faktoru. Kompresory jsou často plně hermeticky uzavřeny v ocelové nádobě, tedy kompresor a pohonný motor jsou uloženy v jedné tlakově uzavřené nádobě, což zajišťuje bezúdržbový provoz po celé roky. V praxi se nejčastěji používají následující typy:

- 1) Pístové kompresory – s nimi se lze setkat u starších tepelných čerpadel. Jsou sice levnější, ale na druhou stranu mají horší topný faktor a jsou hlučnější, což může některým investorům vadit. Jejich životnost se stanovuje asi na 15 let.
- 2) Rotační kompresory – mají také horší topný faktor a využívají se spíše v klimatizačních jednotkách.

- 3) Šroubové kompresory – jsou velice drahé. Jejich využití je hlavně v průmyslové oblasti, kde je potřeba vysokého výkonu.
- 4) Spirálové kompresory (SCROLL) – mají velice dobrý topný faktor. Jedná se o nejpoužívanější typ kompresorů. I přes jejich vyšší cenu je u různých firem velice oblíbený. Jeho životnost se odhaduje na 20 let [4].

Kompresory typu SCROLL mají také velmi klidný chod. Pocitový hluk těchto kompresorů je asi čtyřikrát nižší oproti kompresorům pístovým. Skládají se ze dvou do sebe zasazených archimedických spirál. Komprimace se realizuje excentrickým pohybem pohyblivé spirály uvnitř spirály pevné. Vznikají zde půlměsíčkové objemy neboli kapsy, které se pohybují od obvodu směrem do středu, přičemž se každý uzavřený objem zmenšuje. Uprostřed spirály je otvor, kudy stlačený plyn vystupuje. V každém okamžiku je mezi spirálami více kapes, proto je chod kompresoru téměř plynulý [4, 15].



Obr. 7 – Kompresor SCROLL [15]

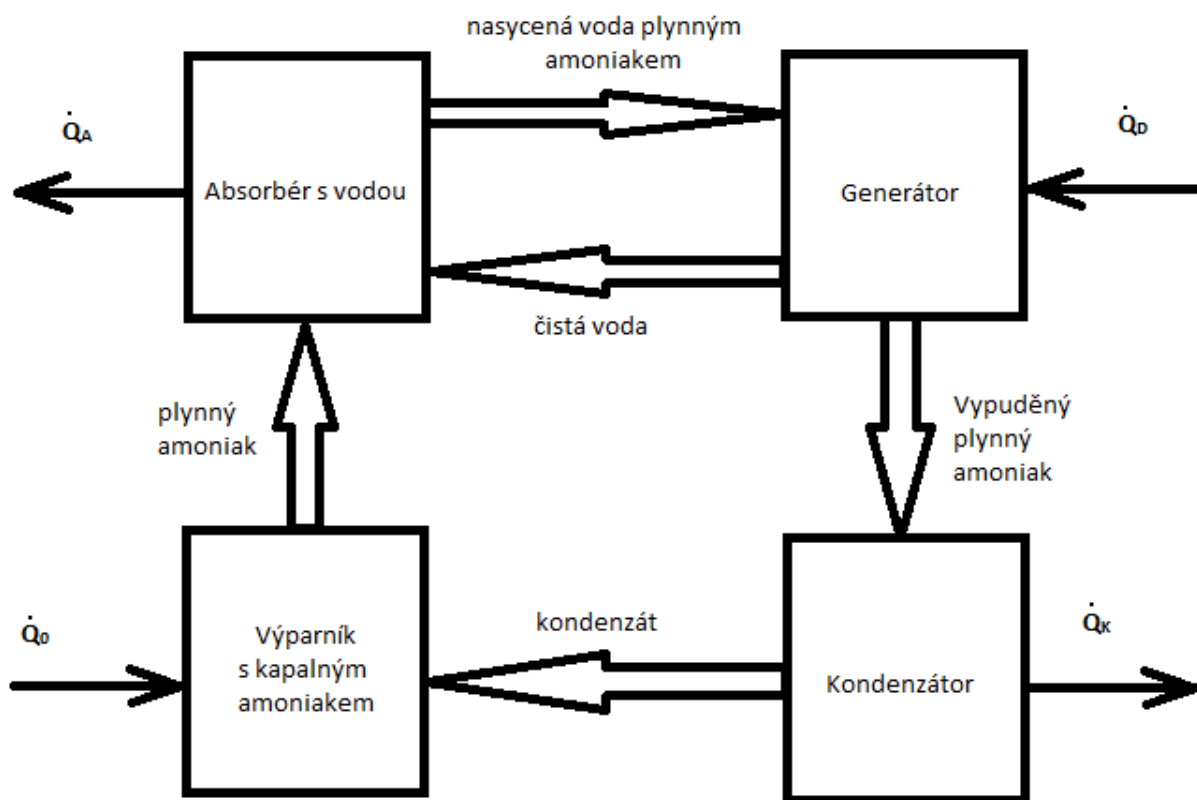
3.1.2 Sorpční TČ

U sorpčních TČ je princip stejný jako u kompresorových. Liší se pouze v kompresi chladiva, přičemž energie pro pohon není elektrická, nýbrž tepelná. Většinou se využívá primární energie např. ze spalování fosilních paliv nebo energie odpadního tepla. Pro absorpci je potřeba přivést tepelný tok s teplotní úrovní 80–120 °C, pro adsorpci je třeba 180–350 °C. Proto se sorpční TČ využívají spíše ke chlazení [16].

3.1.2.1 Absorpční oběh

Při absorpci dochází k rozpouštění plynné látky v kapalině. Probíhá chemická reakce doprovázená uvolňováním tepla, které získáváme v absorbéru. Plynná látka se nazývá absorbát, kapalina absorbent. Nejčastěji se používá voda v kapalném skupenství a absorbátem je amoniak. Teplota varu amoniaku je asi -33 °C za normálních podmínek, proto může mít zdroj energie teplotu pod bodem mrazu a stejně dojde k ohřátí chladiva a následnému vypaření. Jako absorbent lze také použít LiBr a jako absorbát vodu. Nicméně, tato zařízení pracují s vyšší teplotou, proto se využívají spíše v klimatizacích [16].

Princip je zachycen na obrázku 8. Ve výparníku se začne amoniak vypařovat za nízkých teplot. Plyn proudí do absorbéru s vodou, kde dochází k chemické reakci kapaliny a plynného amoniaku (absorpci), při níž se rozpouští plynná fáze v kapalině. Reakce je doprovázena uvolňováním tepla, které se využívá. Důležitým předpokladem je dobrá rozpustnost plynu v kapalině. Roztok se dále přečerpá z absorbéru do generátoru, kde nastává tzv. desorpce. Zde se dodává energie v podobě příkonu generátoru. Zahříváním dochází k vypařování amoniaku a roztok ochuzený o NH_3 se po odevzdání tepla odvádí zpět do absorbéru, kde bude připraven na další absorpci. Amoniak proudí do kondenzátoru v plynném stavu a odevzdává zde teplo, které využívá topná soustava. Nakonec zkondenzovaný absorbát putuje zpět do výparníku a celý cyklus se opakuje [16].



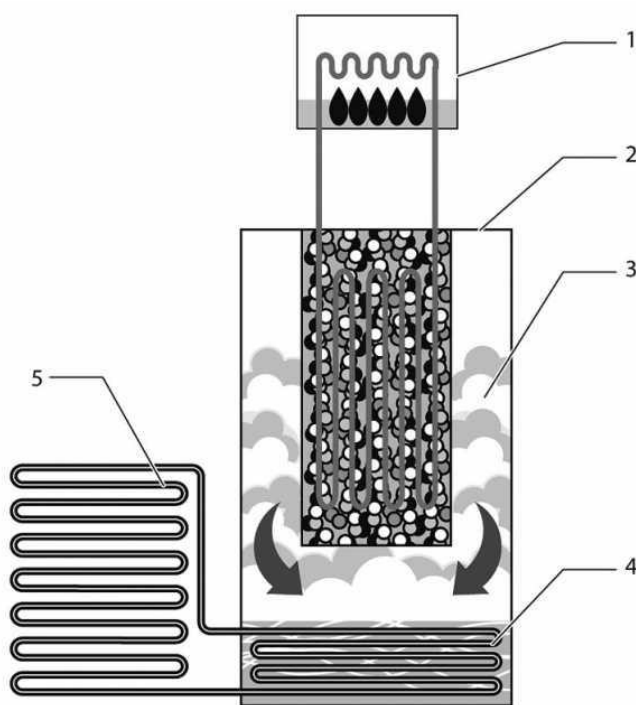
Obr. 8 – Zjednodušené schéma cyklu absorpčního TČ

kde \dot{Q}_0 – chladicí výkon
 \dot{Q}_A – tepelný výkon absorbéru
 \dot{Q}_K – tepelný výkon kondenzátoru
 \dot{Q}_D – tepelný příkon generátoru potřebný pro desorpci

3.1.2.2 Adsorpční (zeolitová) čerpadla

Adsorpce je fyzikální proces, při kterém se hromadí pára na povrchu pevné látky a je vázána Van der Waalsovými silami. Jako adsorbent (tuhá fáze) se využívají látky s velkým povrchem v poměru ke svému objemu, tedy pórovité materiály jako např. aktivní uhlí nebo silikagel. Nejčastěji se ale využívají zeolitové kuličky, proto jsou adsorpční zařízení někdy označována jako zeolitová čerpadla. Adsorbátem je většinou vodní pára. [16]

Na obr. 9 je zjednodušené schéma zeolitového tepelného čerpadla. Zahřátím zeolitu, např. pomocí plynové kondenzační jednotky, na přibližně 110 °C se z něj začne odpařovat voda. Ve vakuovém zeolitovém modulu přechází pára do spodní části a ve výměníku pracujícím na bázi vody dochází ke kondenzaci páry. Zde se získává kondenzační teplo, které se využívá pro vytápění. Jakmile dojde k vysušení zeolitu tak, že neobsahuje již žádnou vodu, zeolitový modul vychladne na teplotu okolí. Voda se pomocí nějakého zdroje, např. slunečních kolektorů, začne ohřívat a díky nízkému tlaku nad vodní hladinou se odpařuje již při velmi nízkých teplotách. Molekuly vodní páry se zachytávají v kuličkách zeolitu. Probíhá chemická reakce doprovázená uvolněním tepla, které se také odebírá do vytápěcího okruhu. Vypařování probíhá tak dlouho, dokud nenastane adsorpční rovnováha. Potom se cyklus opakuje. Různé fáze probíhají v cyklu současně.[16,17]



Obr. 9 – Schéma zeolitového tepelného čerpadla: 1. plynová kondenzační jednotka, 2. zeolitový vakuový modul, 3. vodní pára, 4. výměník, 5. vytápěcí okruh [17].

3.2 Podle primárního zdroje nízkopotenciální energie/ohříváního média

Nejpoužívanějším rozdělovacím kritériem je dvojice druh zdroje tepla/typ média, které slouží přímo k vytápění. Jak již bylo zmíněno, médium se ohřívá v kondenzátoru a je jím většinou voda ústředního topení nebo vzduch rozháněný vytápěnou místností pomocí ventilátorů. Zdrojem tepla může být:

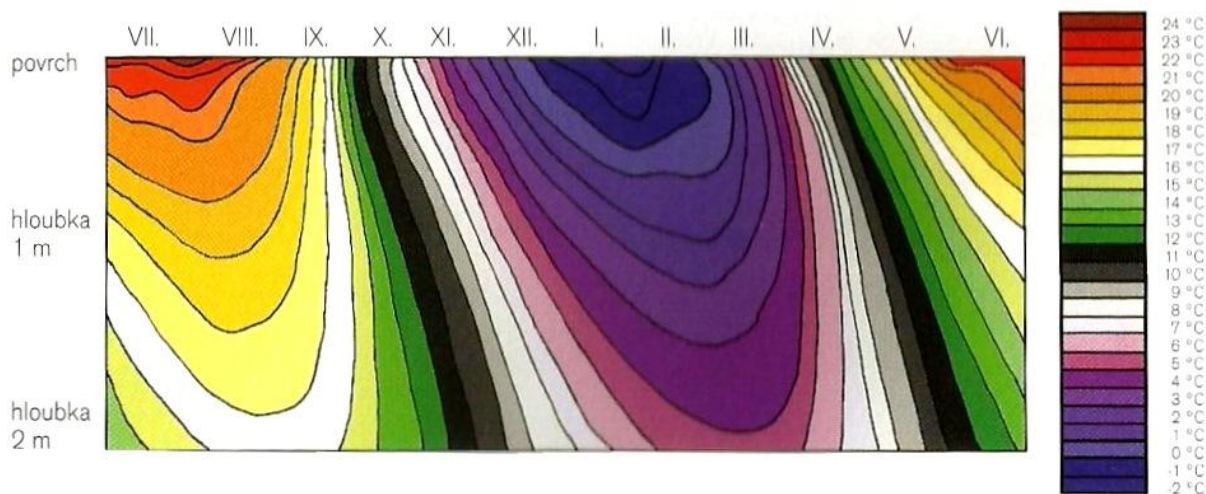
1. země
 - plošný kolektor
 - vrt
 - energetické piloty
2. voda
 - spodní voda
 - povrchová voda
 - odpadní voda

3. vzduch – venkovní vzduch
– odpadní vzduch
4. vzájemná kombinace zmíněných zdrojů
5. ostatní [11].

3.2.1 Plošný kolektor

Jedná se o typ zdroje, kde je využíváno teplo půdní vrstvy. Energie se v letních obdobích naakumuluje do vrchních vrstev zemské půdy. Odtud se pak ochlazuje tepelným výměníkem z polyethylenového potrubí. V praxi je oproti vrtům a energetickým pilotům nejméně náročný jak na finance, tak na samotnou realizaci, jelikož není potřeba žádné stavební povolení. Stačí pouze zaslat ohlášku na stavební úřad [11]. Nevýhodou je požadavek na velkou plochu pro uložení kolektorů. Její velikost se bude lišit s typem půdy. Nejlepší vlastnosti má půda s pohybem spodní vody ($30\text{--}40\text{ kW/m}^2$ při odběru 1800 h za rok) a naopak nejhorší jsou suché a nesoudržné půdy ($10\text{--}15\text{ kW/m}^2$ při odběru 1800 h za rok) [18]. Topný faktor se pohybuje v menších hodnotách oproti vrtům a navíc se během roku mírně mění. Nejhorší je pak koncem topné sezóny, kdy už je půda po zimě vychlazená. Jestliže se topí celoročně, bude potřeba větší plocha. V případě sezonního topení se v létě půda částečně regeneruje přestupem tepla z okolních vrstev zeminy, ze slunečního záření a teplem z venkovního vzduchu. Plocha kolektorů může být v tomto případě menší, ale vždy bude platit pravidlo, že je nejlepší pokrýt co největší plochu [4]. Tento typ lze také využívat v režimu reverzního chodu. Např. v letních obdobích jako klimatizaci v domě, čímž se půda kolektoru opět regeneruje.

Kolektor se umísťuje do hloubky asi 1,5–2 m a to dostatečně daleko (1,5 m) od základů budovy, aby nedošlo k jejich promrznutí. V těchto hloubkách se mění teplota půdy mírněji než těsně pod povrchem. Průběh teplot je zobrazen na obr. 10.



Obr. 10 – Průběh teplot pod povrchem země během roku [4].

Z důvodu případného vzniku nežádoucí koroze na trubkách kolektoru se používá polyethylen, někdy i korozivzdorná ocel [4]. Uložení trubek kolektoru se může lišit. Klasické podélné uložení trubek rovnoměrně čerpá energii z plochy. Uložení do spirály ideálně rozloží čerpání energie, kdy je nejstudenější potrubí ohříváno nejteplejším. Trubky kolektoru by od sebe měli být vzdálené minimálně 0.6m. V případě, že má projektant k dispozici menší plochu pro pokládku, lze využít uložení kolektoru typu slinky (obr. 11) [11].



Obr. 11 – Uložení plošného kolektoru v provedení slinky[19].

Doporučená délka okruhů je 100 až 300 m. Potrubí smyčky se sdružují ve venkovní jímce. V ní se nachází také rozdělovače, sběrače média s možností uzavření jednotlivých smyček, odvzdušňovače a někdy i regulace průtoku. Na konci topné sezóny může klesnout teplota v kolektoru až pod bod mrazu a chladem tak ovlivnit funkčnost vedení křížujících se s topným kolektorem a to např. kanalizace. Z tohoto důvodu musí být kolektor i kanalizace řádně izolovány nejčastěji syntetickým kaučukem. Izolace musí být dále chráněna před destrukcí odolnou chráničkou z PVC či jinou ochranou. Aby se předešlo místním tlakům na potrubí, ukládají se kolektory do písku. Průměr trubky plošného kolektoru se volí dle řady 25, 32, 40 mm [11].

3.2.2 Hlubinné vrtý

Nejvíce rozšířeným zdrojem primární energie pro TČ v České republice jsou geotermální vrtý. Je to především z důvodu nenáročnosti na velkou plochu pozemku, dlouhodobé životnosti a téměř neměnného vysokého topného faktoru. Návratnost je tedy poměrně vysoká, na druhou stranu může investora odradit vysoká vstupní investice spojená se zemními pracemi [24].

V hloubce asi 1 m pod povrchem již voda nezamrzá a teplota je poměrně vysoká a stálá. S rostoucí hloubkou dokonce teplota hornin roste, konkrétně s každými 30 m se zvýší přibližně o 1 °C. Jedná se o zdroj, jehož teplota je nezávislá na počasí a ve 100 m pod povrchem se pohybuje okolo 10 °C. Díky této poměrně vysoké konstantní vstupní teplotě lze

někdy využívat TČ s hlubinným vrtem v monovalentním provozu, přičemž není třeba obstarávat doplňkový zdroj. V období mimo topnou sezonu lze také využívat TČ k ohřevu bazénu nebo v režimu chlazení budovy [20].

Hloubka vrtu pro vytápění rodinného domu se pohybuje v rozmezí 70 až 140 m. Je dána množstvím tepelných ztrát objektu a tepelnou vodivostí horniny, která závisí na její struktuře, textuře, pórovitosti a především na minerálním složení. Možný odběr tepelného toku z jednoho metru délky vrtu při ročním provozu 1800 h např. u suchých sedimentů je pouze 25 W/m a v pevných horninách s vysokou tepelnou vodivostí dosahuje až 84 W/m. Nejhorší vlastnosti mají suché štěrky a písky (<25 W/m) nebo vlhký jíl (35–50 W/m). Naopak nejlépe je na tom rula (70–85 W/m) či štěrky a písky, kde protéká spodní voda (80–100 W/m). V některých případech nelze z důvodu geologických podmínek či vrtací technologie dosáhnout požadované hloubky. Proto se zde navrhuje více kratších vrtů, přičemž se jejich celková délka navrhuje minimálně o 10 % větší než by měřil 1 vrt a rozteč by neměla být menší než 10 m. Obecně je však lepší zvolit vždy 1 delší vrt. Poddimenzování vrtu může vést během pár let k poklesu výkonu či dokonce k zamrznutí vrtu. Okolí vrtu tepelného čerpadla využívaného pouze v topné sezoně se v letním období regeneruje. Zapojení TČ v reverzním chodu pro klimatizaci domu dodává do vrtu energii a dochází zde ke snadnější regeneraci. Sezonní TČ se navrhuje kratší než TČ využívané na ohřev TUV a bazénu [11].

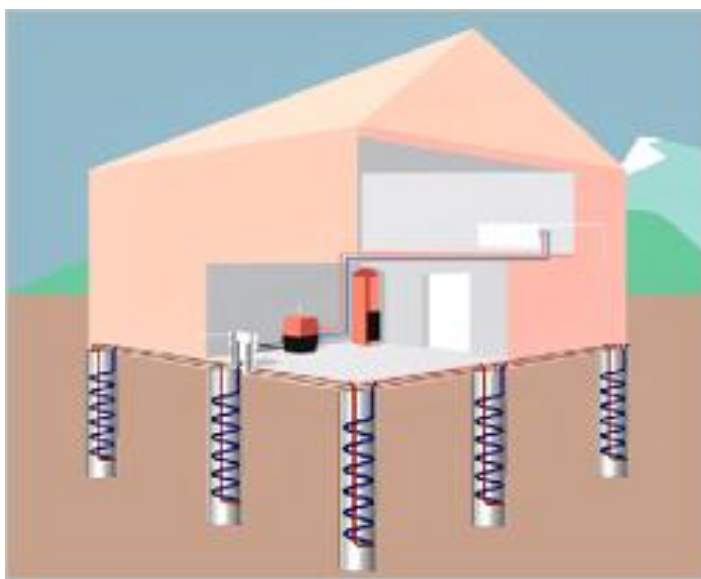
Vlastní vrt se vytváří rotačně příklepovou metodou vrtání a vyvrtaný materiál se odvádí do kalové jímky. Do vrtu o průměru 125–165 mm se zavádí polyethylenová hadice tvaru U o průměru 32–40 mm [20]. Protože v kolektoru proudí chladivo nahoru a dolů, obsahuje vrt vzestupný a sestupný kanál. Příklady možného uspořádání kanálů tepelných výměníků BHE jsou na obr. 12 [21]. Vytěžená hornina musí být vždy bezpodmínečně nahrazena. V řadě případů se může jednat o navrtání hlubinné tlakové vody s obsahem železitých prvků, která by mohla vystoupat do oblasti, odkud je čerpána pitná voda. Zabránění této kontaminace se provádí vyplnění vrtu a to nejčastěji směsí cementu, vody a betonitu [11].



Obr. 12 – Nejčastější půdorysné uspořádání výměňkových kanálů v BHE. a) otevřený koaxiál, b) uzavřený koaxiál, c) jednoduchá U smyčka, d) dvojitá U smyčka, e) mnohosmyčkový koaxiál TIL [21].

3.2.3 Energetické piloty

Piloty se používají jako základy budov v místech, kde je nezpevněné podloží, které znemožňuje stavbu klasických základů. Nejčastěji jsou to místa se zvýšenou hladinou spodní vody či místa v okolí vodních toků. Piloty se dá využívat pro jímání a ukládání tepelné energie. Na ocelové armatuře vyplněné betonem, je navinuta smyčka z potrubí, v němž proudí chladivo. Smyčky jednotlivých pilot vedou skrze základy do technické místnosti. Zde se spojují ve sběračích a rozdělovačích. Chladivo je dále vedeno do tepelného čerpadla. Na rozdíl od předchozích dvou případů, kde bylo možné využívat tepelné čerpadlo pro celosezonní vytápění, se zde musí pracovat také v režimu chlazení. Energetické piloty potřebují dodávku energie, jelikož základy mají omezenou tepelnou kapacitu. Chlazení budovy, tedy regenerace pilot, se provádí v letních obdobích. Pokud je pod základy pohyb spodní vody, je možné energii čerpat bez omezení. U tepelných čerpadel s energetickými piloty (přesněji řečeno tam, kde se využívá jako zdroj tepla základů budov) se nesmí teplota v primárním okruhu dostat dlouhodobě pod bod mrazu. Tato technologie se omezuje pouze na novostavby a dodatečná instalace potrubí s chladivem není možná. Jelikož se využívá pilot, které by musela mít budova i bez tepelného čerpadla, jedná se tedy v podstatě o snadnou a levnou instalaci. Nicméně, dimenzování je velice náročné a musí ho provést specializovaná firma. V případě špatného návrhu by mohlo dojít k poškození základů a tím narušení celé stavby [11].



Obr. 13 – Dům s energetickými pilotami [22]

3.2.4 Spodní voda

Spodní voda jako zdroj nízkopotenciální energie zaručuje poměrně vysoký topný faktor, jelikož teplota vody je relativně vysoká $7 - 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ a v průběhu roku poměrně stálá [11]. Jak již bylo zmíněno, do topného faktoru se nezapočítává příkon vodního čerpadla, ale i přesto jsou náklady na vytápění velmi nízké. Voda se odebírá ze zdrojové studny. Spodní voda sem teče z širšího okolí, odkud dostatečně zásobuje tepelnou energií vodu ve studni. Po předání tepla zdrojové vody ve výměníku tepelného čerpadla chladivem se ochlazená voda odvádí do vsakovací studny. Vzdálenost studní by se měla pohybovat minimálně okolo 15m. Z vsakovací studny by se odpadní studená voda neměla vracet zpět do studny zdrojové a v žádném případě by se voda neměla vypouštět do kanalizace [4].

Ačkoliv se zdá být využívání spodní vody velice snadno realizovatelné, ve skutečnosti lze považovat tento systém za jeden z nejkomplicovanějších a je nezbytné brát do úvahy možná rizika s ním spojená. V prvním řadě musí zdrojová studna poskytovat nepřetržitý dostatek vody. Na 1 kW by mělo odpovídat asi 180 l/h. Z tohoto důvodu se provádí čerpací zkouška trvající minimálně 28 dní. Průtok vody se nastaví tak, aby odpovídal požadovanému výkonu. Na lehkou váhu se nesmí brát ani studna vsakovací, jelikož může způsobit značné problémy. Test probíhá stejně jako v prvním případě [11].

Dále musí zdrojová voda splňovat podmínky ohledně její čistoty a složení. Samozřejmostí je absence mechanických nečistot, kvůli případnému zanášení filtrů a výměníku tepelného čerpadla. V oblastech s vyšším obsahem minerálů a železa ve spodní vodě se provádí její rozbor a následuje zhodnocení výhodnosti aplikace takového tepelného čerpadla. Problém by mohl nastat s nadměrným tvořením vodního kamene. Zdrojová studna by neměla být hlubší než 25 m. Projektant musí pečlivě zhodnotit, zda je ekonomicky výhodné čerpat vodu z odpovídající hloubky [11].

Tepelné čerpadlo musí být chráněno před výpadkem dodávky zdrojové vody. Hlavním rizikem je zamrznutí tepelného výměníku. K tomuto jevu může dojít v případě poruchy čerpadla ve zdrojové studni, nebo při zanesení filtrů ve výměníku. Aby nedošlo k poruše tepelného výměníku při výpadku zdroje, je vhodné nainstalovat do potrubí ve studně s čerpanou vodou hlídač průtoku. Při snížení požadovaného průtoku se tepelné čerpadlo vypne [4, 11].

3.2.5 Povrchová voda

Jedná se o velice výjimečný způsob využívání zdroje tepla. Vodní toky nebo nádrže nebývají ve většině případů v blízkosti vytápěného objektu. Teplota vody se během roku značně mění a stojaté vody či malé potoky v zimním období dokonce zamrzají. Nejvhodnějším adeptem jsou trvale tekoucí vody, kde je umístěn nějaký objekt s náhonem např. mlýn nebo vodní elektrárna. Tepelný výměník z trubek se ukotvuje na dno nebo stěny náhonu. U rybníků či jezer se trubkový výměník pokládá na dno s roztečí 0,5 až 1 m zatížen závažím [4, 11].

3.2.6 Venkovní vzduch

Vzduch z okolního prostředí je velice oblíbený zdroj tepla s nízkou teplotní hladinou. Největším pozitivem jsou nízké pořizovací náklady, jelikož nepotřebují žádné zemní kolektory ani vrty. Tento rozmach je také dán zkvalitněním parametrů vzduchových TČ, jejichž průměrný roční faktor se postupně přibližuje tepelným čerpadlům odebírajícím tepelnou energii ze země [11]. Ovšem pouze v klimaticky mírnějších pásech. V horských oblastech se nedoporučuje instalovat tento typ TČ. Množství energie ve vzduchu je dáno vlhkostí vzduchu a vlhkost vzduchu je dána jeho teplotou. Je-li teplota vzduchu nízká, pak je v něm vody málo, jelikož se voda vypařuje za nižší teploty v menším množství. Obsah energie ve vzduchu s klesající teplotou neklesá úměrně, ale rychleji. Při nejnižších venkovních teplotách, kdy je potřeba dodávat nejvíce tepla do vytápěného objektu, dosahuje TČ nejnižšího topného faktoru a obvykle i nižšího výkonu. Právě zde se doporučuje využívat bivalentního systému vytápění. Tedy pokud TČ není schopno dodávat dostatečnou energii v chladných obdobích, pomáhá se dodávat teplo např. pomocí elektrokotle, kotle na dřevo a jiných. Některá tepelná čerpadla jsou schopna pracovat až do -20 °C (běžně do -12 až -15 °C), nicméně bivalentní provoz je zde nezbytný. Tepelný výměník je většinou umístěn na střeše,

na zahradě či na dvoře a zbytek tepelného čerpadla je většinou uvnitř budovy. V takových případech vzniká na výměníku námraza, která se musí odstranit. K odtávání námrazy se spotřebovává energie, která se zahrnuje do výpočtu topného faktoru. Existují i případy, kdy TČ nemá venkovní jednotku, ale je celé uvnitř. V obou případech je venkovní vzduch nasáván ventilátory do výparníku a to v množství řádově v tisících m^3/h . Energie spotřebovaná ventilátory bývá často větší než energie pro čerpadla vodního TČ [4].

3.3 Podle typu chladiva

Správná volba chladiva spočívá hlavně v rozsahu pracovních teplot, ale také tlaků, při kterých je schopno TČ pracovat. Již zmíněný jedovatý amoniak se začal nahrazovat chladivem na bázi plně halogenových uhlovodíků (CFC), která nejsou jedovatá, ale zatěžují ozónovou vrstvu. Proto byla později zakázána. Podobně byly zakázány částečně halogenované typy chladiv a to ke dni 31. 12. 2014. Dnes se využívají fluorované uhlovodíky a jejich směsi, jelikož neobsahují chlór a nezatěžují tak ozónovou vrstvu. Mezi nejpoužívanější plně fluorovaná chladiva se řadí chladivo R32 (CH_2F_2) a mezi směsi obsahující fluorovaná chladiva se řadí R410A (směs R32/R125 v poměru 50/50) nebo R407C (směs R32/R125/R125 v poměru 23/25/52). Směsi se využívají z důvodu různých teplot varu. Tato chladiva ovšem obsahují fluorované skleníkové plyny. Např. chladivo R32 má potenciál globálního oteplování roven 675, což znamená, že 1 kg chladiva R32 má stejný potenciál ve smyslu oteplování klimatického systému Země jako kdyby bylo vypuštěno 675 kg CO_2 . Jako médium se z přírodních látek někdy používá také CO_2 , nebo propan [23].

4 Srovnání konkrétních instalací TČ

4.1 Bod bivalence

Ke stanovení bodu bivalence je důležité znát graf závislosti výkonu TČ stanoveného pro určitou výstupní teplotu a tepelných ztrát objektu na venkovní teplotě. Jakmile teplota klesne na takovou hodnotu, kdy je 100% výkon TČ roven tepelným ztrátám objektu, jedná se o teplotu bivalentního bodu [26]. Pro nižší teploty je nezbytné použít bivalentní zdroj, neboť TČ není schopno dodat objektu dostatek tepelné energie. Jestliže se navrhne nízký výkon TČ, dojde k dosažení bivalentního bodu za vyšších teplot. Naopak při vyšším výkonu může dojít ke zbytečnému předimenzování. U TČ, kde je zdrojem energie vzduch, klesá jeho výkon s nižší venkovní teplotou. Zemní kolektory mají téměř konstantní dodávku tepla, proto se jejich výkon nemění. Spodní voda má také celkem stálou teplotu během roku.

4.2 Tepelné ztráty

Tepelné čerpadlo je potřeba dimenzovat na pokrytí tepelných ztrát objektu. V případě, že se v objektu již nachází zdroj tepla, který je možno zapojit s TČ do bivalentního provozu, pak se výkon TČ navrhuje nižší. Potřeby k pokrytí tepelných ztrát v mrazivém období jsou v porovnání s celoročním využitím nízké. Tepelné ztráty se stanovují pro venkovní výpočtovou teplotu, která je daná klimatickým prostředím. V ČR se pohybuje v rozmezí -12 až -18 °C [24]. Tepelné ztráty jsou dány především velikostí objektu, zateplením objektu, spotřebou TUV či klimatickým prostředím. Neopomenutelným parametrem je také poloha objektu. Tepelné ztráty dvou stejných domů se budou značně lišit, bude-li jeden postaven osamocen na vyvýšeném místě a druhý jako řadový dům ve městě.

4.3 TČ vzduch/ voda

Pro srovnávání tepelných čerpadel je důležité, stanovit parametry objektu.

Tab. 1 – Technické parametry objektu

Tepelná ztráta objektu	6,4	kW
Předpokládaná roční spotřeba tepelné energie na vytápění	12,5	MWh
Předpokládaná roční spotřeba tepelné energie na přípravu TUV	6,3	MWh
Střední vnitřní teplota v objektu	19,13	°C
Venkovní výpočtová teplota	-12	°C
Teplota topné vody / teplota vratné vody v OS	35/30	°C

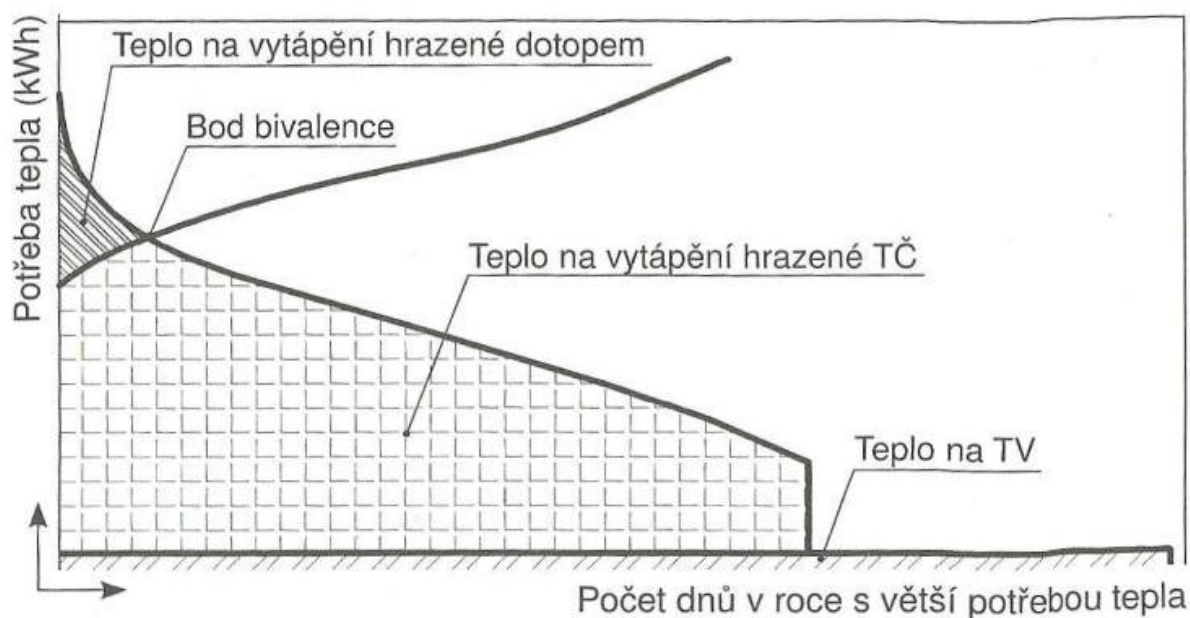
Výpočet byl proveden v diplomové práci Martina Peška [25]:

Tab. 2 – Parametry TČ vzduch/voda HP 3 AW 06 SC

Topný výkon při A2 °C / W35 °C	6,2	kW
Elektrický příkon kompresoru	1,8	kW
Topný faktor při A2 °C / W35 °C	3,4	
Výkon doplňkového zdroje	7	kW
Příkon ohřívače na přípravu TUV	2,2	kW
Teplota bivalence	-3,02	°C
Průměrný topný faktor za otopné období	3,19	
Spotřeba elektrické energie tepelným čerpadlem za topné období	5,16	MWh
Spotřeba elektrické energie elektrokotlem a elektroakumulačním ohřívačem za otopné období	0,73	MWh

Tento typ tepelného čerpadla je vhodný jak pro novostavby, tak pro stávající rodinné domy, kde nejsou možné rozsáhlé stavební práce nebo kde není dostatek místa. Venkovní jednotku lze umístit na střechu nebo vedle domu, popřípadě na vnější stěnu domu. Vzhledem k nízké výstupní hodnotě se používá velmi často podlahové vytápění, které nepotřebuje vysokou teplotu na výstupu TČ. Pro využití vzduchového TČ je nezbytné využití bivalentního provozu a navrhuje se výkon TČ, který odpovídá 50–80 % tepelné ztráty. Pokud se využívá TČ na ohřev TUV, jak je tomu ve zvoleném objektu, může být jeho výkon vyšší.

Celkový podíl potřebného příkonu zvoleného TČ činí 87,6 % z celkové elektrické energie, potřebné pro vytápění objektu za rok. Tato hodnota je poměrně vysoká, jelikož je venkovní výpočtová hodnota $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. V horších klimatických podmínkách, by se jistě zvýšil podíl elektrokotle. Vzhledem k tomu, že je zdrojem nízkopotenciální energie vzduch, je bivalentní teplota docela nízká $-3,02\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je pro TČ velké plus. Ve dnech, kdy teplota klesá pod bod bivalence, je nutné zapojit elektrokotel jako doplňkový zdroj. Těchto dnů je za rok přibližně 20. Další zvýšení podílu potřeby elektrokotle je dáno proměnlivým výkonem vzduchového tepelného čerpadla. Výkon TČ s nižší venkovní teplotou klesá a naopak tepelné ztráty objektu rostou. Přibližnou závislost ukazuje graf na obr. 14. Toto tepelné čerpadlo je poměrně kvalitní, jelikož lze provozovat při teplotě na výstupu $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až do venkovní teploty $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, pak musí doplňkový zdroj pokrýt veškerou energii potřebnou pro kompenzaci tepelných ztrát domu. Venkovní výměník za nízkých teplot podléhá vzniku námrazy, která se musí odstranit buď vestavěným ohřívačem v TČ nebo reverzním chodem, což zvyšuje potřebu elektrické energie. Velmi vhodné je využití pro ohřívání venkovního bazénu nebo pro klimatizaci domu v letním období.



Obr. 14 – Graf závislosti tepelných ztrát a výkonu TČ na počtu dnů v roce s větší spotřebou tepla[11].

Ve srovnání se zemními kolektory mají vzduchová tepelná čerpadla nižší sezonní topný faktor, jelikož je pro pohon ventilátorů potřeba větší energie než pro pohon oběhových čerpadel primárního okruhu. Vzniká zde také ztráta energie vlivem odtávání námrazy na venkovním výparníku a s klesající venkovní teplotou nemálo klesá výkon TČ. Náklady na provoz vzduchových TČ jsou jistě mírně vyšší, nicméně počáteční investice do zabudování zemních kolektorů jsou mnohem vyšší.

Výhody:

- snadná instalace
- nízké pořizovací náklady
- lze využít ke chlazení budovy
- nejsou vyžadovány žádná rozsáhlé stavební práce

Nevýhody:

- venkovní jednotka je zdrojem hluku
- výkon klesá s venkovní teplotou
- nízká životnost
- mírně dražší provozní náklady
- nelze využívat v horských oblastech

4.4 TČ země/voda

Následující typ tepelného čerpadla byl navrhován pro stejný objekt jako předchozí a parametry TČ země/voda s názvem HP 3 BW 07 E jsou uvedeny v tabulce 3.

Výpočet byl proveden v diplomové práci Martina Peška [25]:

Tab. 3 – Parametry TČ vzduch/voda HP 3 BW 07 E

Topný výkon při A0 °C / W35 °C	7,3	kW
Elektrický příkon kompresoru	1,7	kW
Topný faktor při A0 °C / W35 °C	4,2	
Výkon doplňkového zdroje	7	kW
Příkon ohřívače na přípravu TUV	2,2	kW
Teplota bivalence	-6,7	°C
Průměrný topný faktor za otopné období	3,25	
Spotřeba elektrické energie tepelným čerpadlem za topné období	4,94	MWh
Spotřeba elektrické energie elektrokotlem a elektroakumulačním ohřívačem za otopné období	0,14	MWh

Z tabulky 3 je patrné, že teplota bivalence je poněkud nižší než u vzduchového TČ. Doba monovalentního provozu je tedy delší, což snižuje podíl spotřeby energie špičkového zdroje. Konkrétní hodnota podílu spotřeby TČ za otopné období je 97,2 %, což je téměř o 10 % více. Díky vyššímu topnému faktoru je celková potřeba energie za topné období pouze 5,08 MWh, což je o 0,89 MWh méně než v předchozím případě. Provoz je tedy levnější. Naproti tomu jsou potřebné rozsáhlé výkopové práce a s nimi spojené velké počáteční investice.

Vyšší topný faktor tepelných čerpadel země/voda je z důvodu konstantní teploty zdroje nízkopotenciálního tepla. V uvedeném případě jsou navrženy dvě možné varianty, které jsou z hlediska ceny provozu rovnocenné. V prvním případě bude TČ odebírat energii z hlubinného vrtu o hloubce 112 m a průměru 130 mm, do kterého se uloží kolektor o průměru 28 mm. Druhou variantou je plošný kolektor složený ze 4 smyček s roztečí 1 m uložených 1,5 m pod zem. Délka každé smyčky je 100 m. Investice spojené s vyvrtáním vrtu

a uložení vertikálních kolektorů jsou asi o 60 % vyšší než v případě pokládky plošného kolektoru. Horizontální kolektory ovšem vyžadují rozsáhlou plochu pro jejich uložení.

Výhody:

- konstantní teplota zdroje v průběhu roku, stabilní výkon
- nižší spotřeba elektřiny
- vysoká životnost
- využití k ohřevu bazénu nebo jako klimatizace

Hlubinný vrt

- možnost monovalentního provozu
- malé nároky na prostor
- teplota zdroje až 10 °C

Plošný kolektor

- nižší investiční náklady
- dobrá regenerace půdy přes léto
- vysoký topný faktor v oblastech výskytu spodní vody

Nevýhody:

- nezbytné rozsáhlé stavební práce
- umístění kolektorů musí být dostatečně daleko od základů budovy
- nutné vyřídit stavební povolení
- sondy jsou po zahrnutí prakticky neopravitelné
- potřebné kvalitní materiály, které jsou drahé

Hlubinný vrt

- existuje možnost zamrznutí, je-li vrt poddimenzovaný
- riziko kontaminace spodních vod
- vysoké investiční náklady na vrt

Plošný kolektor

- je důležité znát rozmístění dalších staveb
- velké nároky na dostatečnou plochu

4.5 TČ voda/voda

Veškerá data uvedená v této kapitole jsou převzata z knihy Tepelná čerpadla od Ladislava Tintěry [14].

Následující typ tepelného čerpadla byl navrhován pro dvoupodlažní rodinný dům s tepelnou ztrátou 17 kW. Jedná se o skutečnou instalaci tepelného čerpadla, která byla realizována u novostavby z roku 1999 dodatečně o rok později.

Tab. 4 – Technické parametry objektu

Tepelná ztráta objektu	17	kW
Střední vnitřní teplota v objektu	19,5	°C
Venkovní výpočtová teplota	-18	°C
Teplota topné vody / teplota vratné vody v OS	40/30	°C

Parametry instalovaného tepelného čerpadla WB 4 CF/W voda/voda od firmy R. I. P. Děčín, jsou uvedeny v tabulce 5.

Tab. 5 – Parametry TČ Mastertherm typ WE 036 voda/voda

Topný výkon při A10 °C / W35 °C	13,3	kW
Elektrický příkon kompresoru	2,3	kW
Topný faktor při A10 °C / W35 °C	5,8	
Výkon doplňkového zdroje	10	kW
Příkon ohřívače na přípravu TUV	1,6	kW

Majitel uvádí, že elektrokotel jako doplňkový zdroj nebyl použit. TČ plně vystačí pro vytápění domu, bazénu v domě a k přípravě TUV. Pro případ snížení výkonu či poruchy je v zásobníku na vodu vestavěno elektrické topné těleso.

Voda je čerpána z 50 m hluboké zdrojové studny a vrací se do vsakovací studny o hloubce 35 m. V tomto případě se jedná o docela hlubokou studnu, což by se nemuselo ekonomicky vyplatit z důvodu vyšší spotřeby výtlačného čerpadla. Jeho příkon značně zvyšuje náklady na provoz. Čerpací studna musí vykazovat velmi dobrou vydatnost, nejlépe více než 200 l/h na 1 kW výkonu tepelného čerpadla, což je splněno. Firmou zmíněný topný faktor 5,8 je velice vysoký, bohužel to není příliš reálné. Do topného faktoru není započítán příkon výtlačného čerpadla, který není známý. Prvním rokem byl dům vytápěn elektrokotlem o výkon 10 kW. Instalované tepelné čerpadlo s výkonem 13,3 kW při teplotě zdrojové vody 10 °C a teplotě vody v otopné soustavě 35 °C je mírně předimenzováno, protože ho majitel chtěl využívat pouze v monovalentním provozu vytápění.

Při navrhování vhodného typu TČ postupoval projektant pravděpodobně následovně. Jelikož je venkovní výpočtová teplota -18 °C, vzduchové TČ zde není příliš vhodné. V dnešní době se parametry vzduchových TČ velice zlepšují. Je jisté, že by se dnes o tomto typu uvažovalo. Pro plošný kolektor zde není dostatečná plocha, tím lze tuto možnost považovat za zavrhnutou. Jestli by se dal použít hlubinný vrt není jisté, jelikož není známý typ horniny, který se zde vyskytuje. V porovnání s předchozím zdrojem vytápění, jímž byl elektrokotel, uvádí majitel velmi vysokou úsporu v provozních nákladech, ačkoliv zmiňuje vysoké vstupní investice. Vysoké náklady jsou spojeny s výkopem studní. Oproti elektrokotli je zvolené TČ poněkud hlučnější. Dosažení dobrého topného faktoru je dáno také nízkou teplotou na výstupu, jelikož je v objektu zabudováno podlahové vytápění.

Výhody:

- vysoký topný faktor
- stálá a vysoká teplota zdroje
- v porovnání s vrtý mají nižší vstupní náklady
- nízká doba návratnosti

Nevýhody:

- větší hlučnost
- vysoká poruchovost
- existuje riziko zanesení filtrů a zamrznutí výměníku – hlídač průtoku
- měsíční test zdrojové a odpadní studny
- pouze v místech kde je dostatek spodní vody
- požadavky na chemické složení

5 Vyhodnocení výsledků

Tab. 6 – Srovnání jednotlivých typů TČ

	Vzduch/voda A0 °C / W35 °C	Země/Voda A2 °C / W35 °C	Voda/voda A10 °C / W35 °C
Tepelná ztráta objektu	6,4	6,4	17
COP	3,4	4,2	5,8
Výkon TČ [kW]	6,2	7,3	13,3
Příkon kompresoru [kW]	1,8	1,7	2,3
Bivalentní teplota [°C]	-3,02	-6,7	monovalentní provoz
SFP	3,19	3,25	

Sezonní topný faktor TČ voda/voda má velice podobnou hodnotu jako COP. V případě země/voda SFP dosti klesl oproti topnému faktoru, který byl naměřen při daných teplotách. Tento fakt dokazuje, že se parametry vzduchových tepelných čerpadel dosti zlepšují. Při správném návrhu dosahují tato TČ vysoké účinnosti. TČ voda/voda mají zdánlivě velice vysoký topný faktor, který udává výrobce. Jestliže se do COP započítá příkon čerpadla ve zdrojové studně, jeho hodnota se značně sníží. Teplota zdroje je ovšem nejvyšší z uvedených příkladů. Vstupní investice jsou v tomto případě velké, jelikož se jedná o monovalentní provoz a bylo potřeba zvolit TČ s vyšším výkonem (13,3 kW) oproti předchozímu zdroji (10 kW), který plně vystačil na pokrytí tepelné ztráty, nicméně měl vysoké provozní náklady. Z důvodu vysokých investic předimenzovaného projektu bylo tepelné čerpadlo země/voda navrženo na nižší výkon. Doplnkový zdroj sepíná až při venkovní teplotě -6,7 °C, zatímco vzduchové TČ je provozováno bivalentně již při -3,02 °C. Provozní náklady jsou nejnižší v případě zemních kolektorů, ale jejich vstupní investice je největší. Jedno z nejlepších řešení je aplikace plošných kolektorů, protože provozní a investiční náklady jsou nízké a jejich životnost je stejně jako v případě hlubinných vrtů vyšší než u ostatních typů.

Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo provést rešerši základních typů tepelných čerpadel a následně porovnat vybrané typy z hlediska jejich zapojení.

Tepelná čerpadla mají velké využití v instalacích do rodinných domů. Energie se čerpá zejména z přírodních zdrojů. Lze je využívat samostatně bez přídavného zdroje (monovalentně) nebo různými alternativami použití zdroje doplňkového, jímž je nejčastěji elektrokotel. Bivalentní provoz snižuje investice, jelikož investor neplatí za předimenzovaný systém, který je v mnoha případech podstatně dražší. Tento zdroj spíná, klesne-li venkovní teplota pod bod bivalence. V každém případě je výhodné využít akumulaci nádobu, která se využívá zejména při absenci regulace výkonu TČ. Zvyšuje tak jeho životnost, jelikož předchází jeho častému zapínání a vypínání.

Rozdělení bylo provedeno podle různých hledisek. Nejpoužívanějším způsobem komprese chladiva v TČ jsou kompresory. Absorpci a adsorpci využívají spíše chladicí zařízení. Hlavní rozdělovacím kritériem je ovšem dvojice zdroj odkud se čerpá energie a typ média v OS. Lze využívat různé typy chladiv, nicméně je důležité brát ohled na jejich ekologický dopad.

Hodnotí-li se TČ navzájem, nelze jednoznačně určit to nejlepší. Vhodnost správné volby záleží na možnostech domu, zda splňuje podmínku dostatečně velkého pozemku pro aplikaci plošného kolektoru, jestli se objekt nachází v klimaticky mírné oblasti, dosahuje-li vydatnost spodní vody dostatečných hodnot, zda je možnost aplikace vrtu a další. Pro vyhodnocení je důležité znát veškeré investice a provozní náklady. Navíc se u typu voda/voda musí počítat s vyšší poruchovostí, tedy i s vyššími náklady na údržbu. Zemní kolektory se vyrábí z velmi kvalitních materiálů, proto jsou dražší a jejich životnost vyšší, nicméně při špatném provedení již není možnost pozdější opravy vrtu. Ekonomické zhodnocení nebylo po konzultaci s vedoucím provedeno.

Všechny typy mají své výhody i nevýhody, případně sebou nesou určitá rizika. Některé typy nelze v určitých případech vůbec použít, některé by byly zase ekonomicky nevýhodné a jiné se dají provozovat pouze do určité teploty. V případě vzduchového TČ je velkou výhodou možnost použití prakticky u jakéhokoliv domu, který se nachází v klimaticky mírnějších oblastech. Jeho provoz je sice mírně dražší, ale vzhledem k nízké počáteční investici je jeho doba návratnosti oproti hlubinným vrtům kratší. Provozní náklady jsou dány vyšší teplotou bivalence, takže špičkový zdroj spíná již při venkovní teplotě $-3,02\text{ }^{\circ}\text{C}$. V případě typu země/voda sepne až při teplotě $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ a TČ voda/voda pokryje veškerou tepelnou ztrátu během roku, může se tedy provozovat monovalentně. Nejlepší topný faktor má TČ voda/voda, kde dosahuje při parametrech $A10\text{ }^{\circ}\text{C} / W35\text{ }^{\circ}\text{C}$ hodnoty 5,8. Tato hodnota není příliš reálná, jelikož se do ní nezapočítává příkon čerpadla ve zdrojové studně. Ve skutečnosti bude tedy podstatně nižší. Tento typ se ale bohužel potýká s možnými riziky zamrznutí tepelného výměníku, zanesou-li se filtry a do TČ neproudí voda. Lze tomu předcházet hlídači průtoku, které v případě výrazného poklesu proudu vody vypnou TČ. Sezonní topný faktor vzduchového TČ se velmi blíží hodnotě, jakou mají zemní kolektory. Z toho plyne, že se parametry TČ vzduch/voda velmi zlepšují. Na druhou stranu mají nižší životnost. Ve všech případech lze velmi efektivně snížit náklady na provoz vhodnou otopnou soustavou, konkrétně podlahovým vytápěním.

Dle mého názoru mají v lokalitách ČR nejlepší budoucnost vzduchová tepelná čerpadla, protože se jejich parametry velice zlepšují. Investor s nimi nemusí počítat již při návrhu novostavby a může si ho obstarat dodatečně. Nejhorší se jeví TČ, kde je zdrojem spodní voda. Ačkoli mají vysoký COP, doplatí na svou častou poruchovost a nízká poptávka nenutí firmy vyvíjet nové technologie, pro zlepšení jejich parametrů.

Citovaná literatura

- [1] DVOŘÁK, Zdeněk, Luděk KLAZAR a Jiří PETRÁK. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, s. 340.
- [2] Kolektiv autorů při ISŠ Cheb. *Tepelná čerpadla* [online]. 2011 [cit. 2015-02-12] Dostupné také z: <http://iss-cheb.cz/projekt/vyuzitioze.html>
- [3] PAVELEK, Milan a kol. *Termomechanika*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 192 s. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [4] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Brno: ERA, 2005, s. 78. ISBN 80-7366-031-8.
- [5] ŠOUREK, Bořivoj. *Tepelná čerpadla* [online]. 2011 [cit. 2015-02-23] Dostupné také z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/6543-zkouseni-tepelnych-cerpadel>
- [6] KLAZAR, Luděk. *Jak je to vlastně s topným faktorem (I)* [online]. 29.3.2005 [cit. 2015-03-04] Dostupné také z: <http://www.tzb-info.cz/2432-jak-je-to-vlastne-s-topnym-faktorem-i>
- [7] JELÍNEK, Vladimír a Vladimíra LINHARTOVÁ. *Využívání a provozování tepelných čerpadel v nízkoenergetických domech čerpadla* [online]. 10.1.2015 [cit. 2015-04-10] Dostupné také z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12211-vyuzivani-a-provozovani-tepelnych-cerpadel-v-nizkoenergetickych-domech>
- [8] MATUŠKA, Tomáš, Jan SCHWARZER a Bořivoj ŠOUREK. *Tepelná čerpadla - teorie a schémata (IV) : Tepelné čerpadlo zapojené v bivalentním provozu pro vytápění* [online]. 12.12.2005 [cit. 2015-05-09]. Dostupné také z: <http://www.tzb-info.cz/2932-tepelna-cerpadla-teorie-a-schemata-iv>
- [9] KRAINER, Robert. *Postup při návrhu tepelných čerpadel* [online]. 9.3.2015 [cit. 2015-05-09]. Dostupné také z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelnych-cerpadel>
- [10] MATUŠKA, Tomáš, Jan SCHWARZER a Bořivoj ŠOUREK. *Tepelná čerpadla - teorie a schémata (V): Tepelné čerpadlo zapojené v bivalentním provozu pro vytápění* [online]. 19.12.2005 [cit. 2015-05-09]. Dostupné také z: <http://www.tzb-info.cz/2950-tepelna-cerpadla-teorie-a-schemata-v>
- [11] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 109 s. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [12] NESVADBOVÁ, Simona. *Dynamika vytápěcího systému s tepelným čerpadlem jako zdrojem tepla (II)* [online]. 6.2.2006 [cit. 2015-05-10]. Dostupné také z: <http://www.tzb-info.cz/3045-dynamika-vytapeciho-systemu-s-tepelnym-cerpadlem-jako-zdrojem-tepla-ii>
- [13] STUPAVSKÝ, Vladimír. *Zapojení tepelného čerpadla s kotlem na biomasu a akumulací nádrží* [online]. 2009 [cit. 2015-05-10]. Dostupné také z: <http://biom.cz/cz/obrazek/zapojeni-tepelneho-cerpadla-s-kotlem-na-biomasu-a-akumulacni-nadrzi>

- [14] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Praha: ARCH, 2003, 121 s. ISBN 80-861-6561-2.
- [15] *Tepelná čerpadla* [online]. Viessmann, 2009 [cit. 2015-05-10]. Firemní článek. Dostupné také z: http://www.podlahovetopeni-moravia.cz/tepelna_cerpadla.pdf
- [16] KÁZMÉROVÁ, Kristína. Sorpční chladicí zařízení. *TZB Haustechnik CZ* [online]. 1.5.2009, 4 [cit. 2015-03-10]. Dostupné také z: <http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7712-sorpcni-chladici-zarizeni>
- [17] *Tepelná čerpadla na bázi zeolitu* [online]. Vaillant Group Slovakia, 30.9.2013 [cit. 2015-04-16]. Firemní článek. Dostupné také z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/vytapeni/tepelna-cerpadla-na-bazi-zeolitu>
- [18] MATUŠKA, Tomáš, Jan SCHWARZER a Bořivoj ŠOUREK. *Tepelná čerpadla - teorie a schémata (I)* [online]. 31.10.2005 [cit. 2015-05-09]. Dostupné také z: <http://www.tzb-info.cz/2820-tepelna-cerpadla-teorie-a-schemata-i>
- [19] *Rodinný dům měsíce* [online]. Úsporné vytápění, 2013 [cit. 2015-04-20]. Firemní článek. Dostupné také z: <http://www.uspornevytapieni.cz/rodinny-dum-libeznicko/>
- [20] MRAČKOVÁ, Alžběta. *Návrh a optimalizace tepelného čerpadla pro mateřskou školu : Heat pump design and optimalization for nursery building* (diplomová práce). Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 70 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [21] ČÍŽEK, Petr. *Základní vlastnosti vrtů pro tepelná čerpadla* [online]. 5.11.2012 [cit. 2015-05-11]. Dostupné také z: <http://www.tzb-info.cz/9245-zakladni-vlastnosti-vrtu-pro-tepelna-cerpadla>
- [22] *Energetické piloty* [online]. GEROTop [cit. 2015-05-11]. Firemní článek. Dostupné také z: <http://www.gerotop.cz/cs/sluzby/tepelna-cerpadla-primarni-okruhy/geotermalni-energie/energeticke-piloty/>
- [23] KRAINAR, Robert a Jiří, DUDA. *Chladiva používaná v tepelných čerpadlech* [online]. 4.5.2015 [cit. 2015-05-08]. Dostupné také z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>
- [24] HONZÍK, Jiří. *Dimenzování tepelného čerpadla vzduch-voda, bivalentní/záložní zdroj* [online]. AC-Heating, 3.11.2011 [cit. 2015-05-10]. Firemní článek. Dostupné také z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/7995-dimenzovani-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda-bivalentni-zalozni-zdroj>
- [25] PEŠEK, Martin. *Energetická a ekonomická bilance vytápění rodinného domku tepelnými čerpadli : Energy and economic assesment of heating of family house using heat pump* (diplomová práce). Brno: Vysoké učení technické, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 64 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Michal Jaroš, Dr.

Seznam zkratk a symbolů

COP – topný faktor

DZ – dodatekový (špičkový) zdroj tepla

OS – otopná soustava

SPF – sezónní topný faktor

TČ – tepelné čerpadlo

TUV – Teplá užitková voda

Značka	Jednotka	Veličina
η	[-]	účinnost
ε	[-]	topný faktor
p	[Pa]	tlak
P	[W]	příkon motoru
Q_K	[J]	kondenzační teplo
Q_0	[J]	nízkopotenciální teplo
\dot{Q}_Z	[W]	tepelné ztráty objektu
$\dot{Q}_{TČ}$	[W]	výkon tepelného čerpadla
\dot{Q}_{ZT}	[W]	tepelný tok dodávaný zdrojem
\dot{Q}_E	[W]	potřebný příkon
\dot{Q}_0	[W]	chladicí výkon
\dot{Q}_A	[W]	tepelný výkon absorbéru
\dot{Q}_K	[W]	tepelný výkon kondenzátoru
\dot{Q}_D	[W]	tepelný příkon generátoru potřebný pro desorpci
T_C	[K]	spodní teplota Carnotova cyklu
T_H	[K]	horní teplota Carnotova cyklu
t_b	[°C]	teplota bivalence